

基于遗传算法的冲击谱合成计算

代晋 尤向华 曾柯杰 黄巍

中国电子科技集团第三十研究所, 四川, 成都, 610041

摘要: 本文阐述了冲击响应谱在环境试验中的应用价值, 介绍了冲击响应谱谱值计算在 matlab 中的实现方法, 并利用 matlab 中的遗传算法工具合成了满足规范谱要求的时域冲击信号, 为有限元分析瞬态冲击问题提供了参数化的激励。

关键词: 冲击响应谱; 遗传算法; 参数化

Calculation of Shock Response spectrum Based on Genetic Algorithm

Abstract: This paper describes the application of shock response spectrum value in environmental testing, the shock response spectrum value calculation method in MATLAB, and use the Matlab tool in the genetic algorithm to meet the specification requirements of the time-domain impulse signal spectrum synthesis provides parametric excitation for the finite element analysis of transient impact problems.

Keywords: shock response spectrum; genetic algorithm; Parameterization

1 引言

冲击响应谱试验方法是近年来冲击试验中广泛应用的重要方法。以往的冲击试验主要依靠半正弦波、三角波、后峰锯齿波等脉冲波形进行冲击试验, 如 GJB150.16 中所规定的冲击试验标准。在最新的 GJB150A.16 中已经明确提出, 冲击试验应首先利用实际应用环境的冲击谱对被试验装置进行试验。一般的规范谱只规定了冲击谱的形状, 频域范围与幅值, 但却未规定冲击波的时域波形, 然而在利用有限元软件进行瞬态冲击试验分析时只能输入时域冲击波形, 因此合成一种满足规范冲击谱要求的时域波形用以提供冲击仿真分析的外界激励是很有必要的。

2 冲击响应谱与谱值计算

2.1 冲击响应谱的概念

为了研究结构的耐冲击能力, Blot · M · A 最早提出了冲击响应谱 (shock response spectrum) 的概念。冲击响应

谱是指将冲击激励施加到一些列线性、单自由度弹簧质量系统时, 将各单自由度系统的最大响应值, 作为对应于系统固有频率的函数而绘制的曲线^[1]。它用冲击载荷作用在结构系统上的效果, 即研究冲击运动对系统的损伤, 它不但对设备实施抗冲击设计的分析基础, 也是控制产品冲击环境模拟实验的基本参数。任意单自由度弹簧质量系统可描述为如图 1 所示的物理模型。

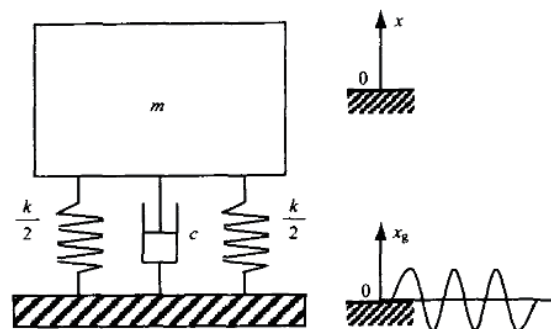


图 1

系统刚度为 k ，阻尼 c ，基础绝对位移为 x_g ，质量单元位移 x ，相对位移为 $a=x-x_g$ ，系统运动方程为：

$$m\ddot{a}+c\dot{a}+ka=-m\ddot{x}_g。$$

$$\text{设 } w^2=k/m, \quad 2\xi w=c/m$$

$$\text{方程改写为: } \ddot{a}+2\xi wa+w^2a=-\ddot{x}_g$$

当系统的固有频率 w 改变时，系统的最大加速度响应 $\max(\ddot{a})$ 也随之发生变化，因此冲击响应谱的函数关系为：

$\max(\ddot{a})=f(w)$ 。一般的冲击谱线如图 2 所示。

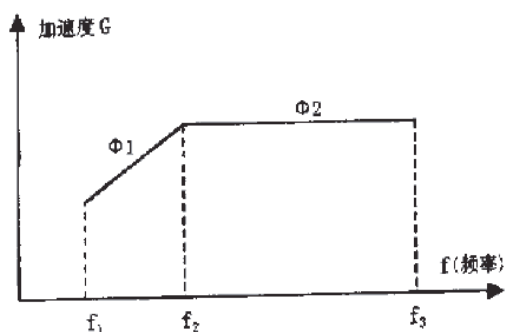


图 2

2.2 响应谱计算

在求解系统响应的微分方程以建立系统频率与系统最大加速度响应关系时主要有解析法与数值算法，在计算复杂波形的冲击响应谱时，解析法存在一定瓶颈，积分形式相对复杂不易求解。因此普遍采用计算机辅助的数值算法，如：Runge-kutta 法、递推积分法、数字滤波法等^[2]。本文采用 4 阶 Runge-kutta 法，其解算原理如下：

$$Y_{n+1}=Y_n+h(K_1+2K_2+2K_3+K_4)/6$$

$$K_1=f(X_n, Y_n)$$

$$K_2=f(X_n+h/2, Y_n+K_1h/2)$$

$$K_3=f(X_n+h/2, Y_n+K_2h/2)$$

$$K_4=f(X_n+h, Y_n+K_3h)$$

在 matlab 中利用 ode45 函数进行 Runge-kutta 迭代解算，其调用方式如下：

`[x,y]=ode45('fun',tspan,yo,option)`

3 基于遗传算法的冲击谱合成

由于规范谱并未严格规定合成谱值的波形，因此可采用多种脉冲作为基波来合成满足冲击谱值曲线要求的波形。本文采用的为子波合成法，此法最初是为美国军方研制，基础波形如下。

$$\ddot{u}(t)=\begin{cases} A_i \sin(2\pi b_i t) \sin(2\pi f_i t) & 0 \leq t \leq T_i \\ 0 & t > T_i \end{cases}$$

$$\ddot{U}=\sum_{i=1}^L \ddot{u}_i(t+\tau_i)$$

其中， $f_i=N_i b_i$ ， $T_i=1/2b_i$ ， N_i 为正奇数，此激励波的特点为在 0 时刻的一重与二重积分值为 0，即 0 时刻的速度、位移为 0，满足振动台的实际控制特点，应用较为广泛。

匹配计算过程中需要优化的参数有 f_i 、 A_i 、 N_i 、 T_i ，约束条件为：

$$A_i \leq A_{\max} \quad \text{and} \quad \max |\ddot{U}(t)| \leq A_{\max}$$

目标函数为：

$$\sum_{i=1}^L (\max(\ddot{U}_i) - U_{\text{srs}})^2$$

其中 $A_{\max}$ 为振动台所能承受的最大加速度值， U_{srs} 为对应频率点上的规范谱幅值。通过对以上参数的优化使合成波形的冲击谱曲线在规范谱的容差范围内。本文采用遗传算法在求解域内对目标函数搜索最优解。

遗传算法 (Genetic Algorithm, 缩写为 GA) 是一种有效地解决最优化问题的方法。“生存十检测的迭代过程的搜索算法^[3]。遗传算法以一种群体中的所有个体为对象，并利用随机化技术指导对一个被编码的参数空间进行高效搜索：其中，选择、交叉和变异构成了遗传算法的遗传操作；参数编码、初始群体的设定、适应度函数的设计、遗传操作设计、校制参数设定等 5 个要素组成了遗传算法的核心内容。遗传算法具有如下优点：不是从单个点，而是从多个点构成的群体进行搜索；搜索最优解过程中只需要目标函数值转换得来的适应值信息，而不需要导数等其它辅助信息；搜索过程不易陷入局部最优优点。

用遗传算法优化神经网络模型，仍然以 MATLAB 软件为平台，采用英国谢菲尔德 (Sheffield) 大学开发的遗传算法工具箱 GATBX 进行寻优计算。文中选用二进制编码，采用单点交叉，进行操作。设定初始种群大小为 40 个，交叉概率为 0.7，变异概率为 0.05，迭代代数 1000，运用 matlab 遗传算法工具箱进行编程优化，主要实现程序如下：

```
nind=40;% 定义遗传算法性能参数
chrom=crtbp(nind,nvar*preci);% 初始化种群
while gen<maxgen,
    fitnv=ranking(objv);% 分配适应度值
    selch=select('sus',chrom,fitnv,ggap);% 选择
```

```

selch=recombin('xovsp',selch,0.7);% 交叉重组
selch=mut(selch); % 变异
[chromobjv]=reins(chrom,selch,1,1,objv,
objysel);% 重插入子代的新种群
n=30 ;t=20*0.001
f1=100 ; f2=450 ;f3=3000;bb=6.5; y2g=700
fi=zeros(1,n)
asrsi=zeros(1,n)
step=(log10(f3)-log10(f1))/n % 分析采样频率
for i=1:n
    fi(i)=10^(log10(f1)+(i-1)*step)
    if fi(i)<=450
        L=bb*log10(f2/fi(i))
        asrsi(i)=y2g/(10^(L/20)) % 插值计算标准谱幅值
    else
        asrsi(i)=y2g
    end
end
% 完成 fi(i) 与 Asrsi(i)
for i=1:n
    asrsiz(i)=asrsi(i)*10^(6/20)
    asrsif(i)=asrsi(i)*10^(-6/20)
end
plot(fi,asrsi,fi,asrsiz,fi,asrsif) % 完成标准冲击谱与上下限绘制
[t,y]=ode45(@FUNsin5,[0 0.1],[0 0],options,www) %Runge-kutta 法
求常微分方程

```

```

b=size(y)
h=linspace(1,b(1),b(1))
for n=1:1:b(1)
    h(n)=-2*0.05*www*2*pi*y(n,2)-(www*2*pi)^2*y(n,1)
end

```

通过 matlab 的 GUI 功能编写用户操作界面，方便了用户参数与限定条件的设定以及结果的读取。优化过程以及用户界面如图 3 所示。

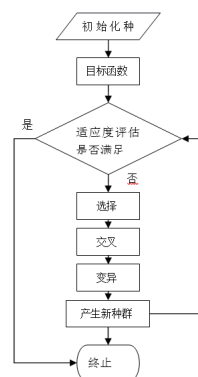
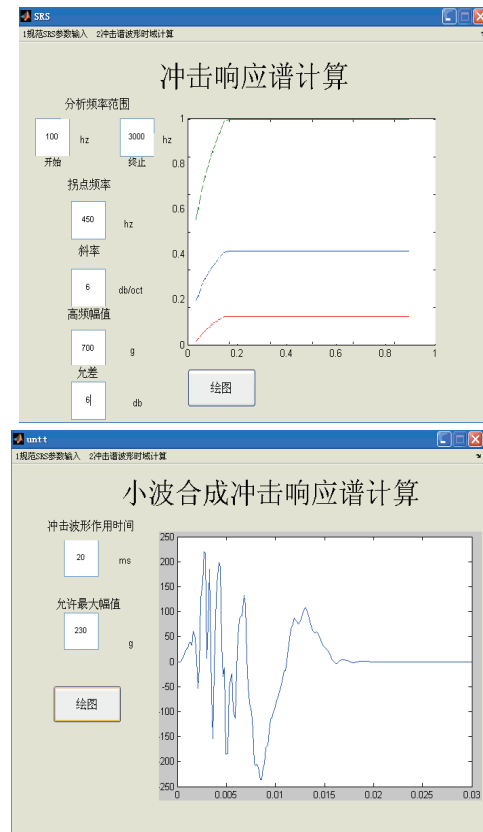


图 3

4 总结与展望

本文利用遗传算法对冲击响应谱在时域范围内进行了子波合成，所合成的冲击时域波形的响应谱幅值在规范谱的容差范围内，为有限元仿真分析提供了外界冲击激励，克服了瞬态分析中，冲击响应谱频域像是时域转化的辨识问题。在 matlab 中所合成的波形只能通过描点的方式输入到有限元仿真软件中，在数据对接方面还存在一定问题，在此方面希望引入例如 ansys 有限元软件中的 apdl 语言编程，实现数据的自动无损对接。

参考文献

- [1] 李伟森, 张冬冬, 王丹丹, 冲击响应谱分析 [J]. 绿色质量工程, 2008, 05: 57-59
- [2] 任昌, 潘宏侠, 基于冲击信号的冲击响应谱研究 [J], 火炮发射与控制学报, 2010, 03 (006): 21-24
- [3] 华师韩, 田恒春, 冲击响应谱计算相关参数选择的研究 [J], 遥测遥控, 2005, 11: 50-55 